

D.J.  
#3  
- 81791  
*Priority  
papers*

1c978 U.S. PTO  
09/877923  
06/08/01

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the application of  
Eckard Deichsel et al.

: Docket NO.: 21137.PUS  
:  
:  
:  
:  
:  
:  
:

Serial No.: To Be Assigned

Filed: Concurrently Herewith

Title: STOPPER FOR SEALING  
INFUSION BOTTLES

To the Commissioner of Patents and Trademarks:

Sir:

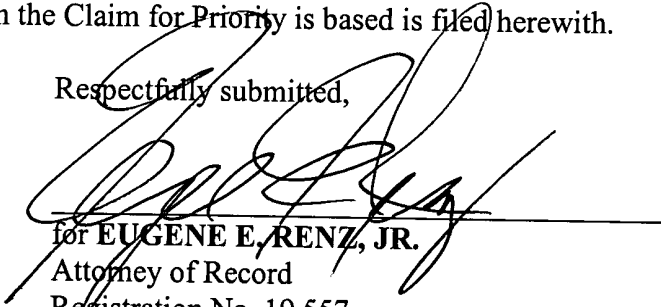
**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Priority is claimed for the above-identified application under the terms of the International Convention and in accordance with the provisions of 35 U.S.C. Section 119 and Section 172.

In accordance with the requirement, a certified copy of German Application No. 10030672.1 and filed **June 23, 2000** on which the Claim for Priority is based is filed herewith.

Respectfully submitted,

Telephone:  
(610)565-6090  
Facsimile:  
(610) 566-9790  
P.O. Box 2056  
205 North Monroe Street  
Media, PA 19063-9056

  
for EUGENE E. RENZ, JR.  
Attorney of Record  
Registration No. 19,557



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 100 30 672.1

**Anmeldetag:** 23. Juni 2000

**Anmelder/Inhaber:** SCHNEIDER Laser Technologies  
Aktiengesellschaft, Gera/DE  
Erstanmelder: LDT GmbH & Co Laser-Display-  
Technologie KG, Gera/DE

**Bezeichnung:** Sättigbarer Reflektor und Sättigbarer Absorber

**IPC:** H 01 S, G 02 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 10. Mai 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Dzierzon

## Sättigbarer Reflektor und Sättigbarer Absorber

Die Erfindung betrifft einen Sättigbaren Reflektor und einen Sättigbaren Absorber, die jeweils aus mehreren Schichten auf einem Substrat aufgebaut sind, insbesondere für die Verwendung in einem Festkörperlaserresonator.

CHEMLA beschreibt in der US 4,860,296 einen Resonatorspiegel für eine Laserkavität, bei dem auf einem Reflektorspiegel, ein Schichtaufbau mit einer sättigbar absorbierenden Wirkung und abschließend eine Anti-Reflexbeschichtung aufgebracht sind. Die Schichtdicken innerhalb des Schichtaufbaues sind so gewählt, daß die Schichten mit der eigentlich sättigbar absorbierenden Wirkung im jeweiligen Stehwellenmaximum liegen und somit eine feste Phasenanpassung mit einer  $\frac{\lambda}{2}$ -Bedingung erfüllt wird.

In der US 5,701,327 (CUNNINGHAM) wird ein Sättigbarer Bragg-Reflektor beschrieben, der aus nachfolgend genannten, aufeinander angeordneten Schichten besteht: einem Substrat aus Galliumarsenid (GaAs), einem Bragg-Reflektor aus alternierenden Schichten aus Aluminiumarsenid (AlAs) und Galliumarsenid und einer auf den Bragg-Reflektor aufgetragenen Spannungs-Entlastungs-Schicht aus Indiumphosphid (InP) mit einer Schichtdicke von  $\frac{\lambda}{2}$ . Innerhalb dieser Spannungs-Entlastungs-Schicht ist/sind eine oder mehrere Quantenschichten aus Indium-Galliumarsenid / Indiumphosphid (InGaAs/InP) eingebettet. Die Lösung nutzt die Verspannung innerhalb einer  $\frac{\lambda}{2}$  Schicht aus, in die mindestens eine Quantenschicht eingebaut ist. Die  $\frac{\lambda}{2}$ -dicke Spannungs-Entlastungs-Schicht ist die an das umgebende Medium angrenzende Schicht des Sättigbaren Bragg-Reflektors. Durch eine vergleichsweise aufwendige Prozeßführung soll erreicht werden, daß die Quantenschichten in einem vorbestimmten Gebiet des Spannungsabbaues innerhalb der Spannungs-Entlastungs-Schicht angeordnet werden, um eine zusätzliche Rekombinationsquelle für Ladungsträger zu erhalten.

Es wird das Ziel verfolgt, ultrakurze optische Pulse (110 fs) mit einer relativ großen Bandbreite (26 nm) für Kommunikationsanwendungen (Laserwellenlänge 1541 nm) zu schaffen. Hier wird eine Phasenbeziehung der Lage der Quantenschichten zur stehenden Welle hergestellt, die außerhalb des Stehwellenmaximums liegt.

Robert M. Kolbas u.a. nennen in „Strained-Layer InGaAs-GaAs-AlGaAs Photopumped and Current Injection Lasers“ *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 24, No. 8, 1988 das Schichtsystem GaAs-InGaAs-GaAs als Beispiel einer Quantenschicht-Heterostruktur.

Die Indium-Galliumarsenid-Schicht kann mit verschiedenem Indiumanteil hergestellt werden. Dieses Schichtsystem zeichnet sich dadurch aus, daß mit einer Auswahl des Indiumgehaltes und einer Schichtdicke der Einfach-Quantenschicht eine Arbeitswellenlänge innerhalb eines großen Wellenlängenbereiches festgelegt werden kann (siehe dort Fig. 6).

J.-Y. Marzin, M. N. Charasse und B. Sermage beschreiben in „Optical investigation of a new type of valence-band configuration in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  - GaAs strained superlattices“ *Phys. Rev.*, vol. B31, pp 8298-8301, 1985 eine Aufspaltung des Valenzbandes einer InGaAs-Schicht in ein „heavy-(HH) hole band“ und ein „light-(LH) hole band“ infolge von mechanischem Streß, der infolge der Gitterabstandsunterschiede zwischen InGaAs und GaAs entsteht (siehe dort Fig. 1). In Fig. 2 wird anschaulich dargestellt, wie sich das Absorptionsverhalten als Funktion der Energielücke bzw. als Funktion der Wellenlänge einer Laserstrahlung mit der Schichtdicke und damit mit der Größe der Verspannung der InGaAs-Schicht innerhalb der GaAs-Schichten verändert. Derartige Schichtsysteme werden bisher nur für Halbleiterlaser eingesetzt.

Keller, U. u.a. zeigen auf Seite 443, Fig.10 in „Semiconductor Saturable Absorber Mirrors (SESAM's) for Femtosecond to Nanosecond Pulse Generation in Solid-State Lasers“ *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol 2, No. 3, September 1996 einen Schichtaufbau, der ein Sättigbarer Reflektor ist. Eine erste Schichtfolge (Si-Substrat, Epoxy und Ag) bildet einen Reflektor. Eine weitere Schichtfolge bildet aus Halbleiterschichten den Sättigbaren Absorber, der zwei 10 nm Dicke Absorberschichten aus GaAs enthält.

Die Aufgabe dieser Erfindung besteht darin, einen vergleichsweise einfach aufgebauten Sättigbaren Reflektor oder einen Sättigbaren Absorber mit einer Quantenschicht-Heterostruktur insbesondere für die Verwendung in einem Festkörperlaserresonator zu schaffen. Sie sollen jeweils leistungsmäßig hoch belastbar und insbesondere für Laserausgangsleistungen größer 5 Watt geeignet sein. Dabei soll der Sättigbare Reflektor oder der Sättigbare Absorber in einem Laserresonator eingesetzt werden, der Laserpulse mit einer Breite im Bereich von 0,1 ps bis 100 ps erzeugt.

Die Erfindung betrifft einen Sättigbaren Reflektor für eine Laserwellenlänge  $\lambda_L$ , bei dem auf einer Oberfläche eines Substrates ein Reflektor und auf diesem eine Schichtfolge aus mehreren Halbleiterschichten mit einer sättigbar absorbierenden Wirkung aufgebracht ist. Die Erfindung betrifft weiterhin einen Sättigbaren Absorber für eine Laserwellenlänge  $\lambda_L$ , der aus der Schichtfolge mehrerer Halbleiterschichten mit einer sättigbar absorbierenden Wirkung auf einem für die Laserwellenlänge transparenten Substrat aufgebaut ist.

Die Erfindung ist für den Sättigbaren Reflektor dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtfolge eine gitterverspannte Einfach-Quantenschicht und eine Deckschicht enthält, wobei die Materialzusammensetzung der Einfach-Quantenschicht, ihre Schichtdicke und ihre Verspannung im Schichtaufbau innerhalb eines Wellenlängenbereiches eine absorbierende Wirkung festlegen, weiterhin der Grad der sättigbaren Wirkung durch eine Wahl des Abstandes der verspannten Einfach-Quantenschicht zur Grenzfläche der Deckschicht zu einem umgebenden gasförmigen Medium festgelegt ist. Wichtig ist, daß dieser Wellenlängenbereich die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  beinhaltet, mit welcher der Sättigbare Reflektor betrieben werden soll.

Die Erfindung ist für den Sättigbaren Absorber dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtfolge eine gitterverspannte Einfach-Quantenschicht und eine Deckschicht enthält, wobei die Materialzusammensetzung der Einfach-Quantenschicht (6), ihre Schichtdicke und ihre Verspannung im Schichtaufbau innerhalb eines Wellenlängenbereiches eine absorbierende Wirkung festlegen, weiterhin eine sättigbare Wirkung durch eine Wahl der Position innerhalb der stehenden Wellen eines Laserresonators festgelegt ist.

Wichtig ist, daß dieser Wellenlängenbereich die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  beinhaltet, mit welcher der Sättigbare Absorber betrieben werden soll. Für die sättigbare Funktion des Sättigbaren Reflektors oder des Sättigbaren Absorbers ist es sehr nützlich, wenn bei der Laserwellenlänge  $\lambda_L$  ein ausgeprägtes Absorptionsmaximum des Absorptionsverlaufes der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht liegt. Eine für die hier gewünschte Funktion günstige Gitterverspannung liegt in einem Bereich, der durch die Differenz der Gitterabstände der Einfach-Quantenschicht und des umgebenden Materials in der Größenordnung zwischen 0,005 bis 0,02 nm bestimmt ist. Bei geringerer Differenz verschwindet die Verspannung, bei größerer Differenz gibt es Probleme mit der Haftfestigkeit der Schichten.

Dabei darf die Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht in Bezug zu den sich in einem Laserresonator ausbildenden stehenden Wellen nicht in einem Intensitätsminimum der einfallenden und/oder reflektierten Strahlung mit der Laserwellenlänge  $\lambda_L$  liegen.

Neu ist die Erkenntnis, daß die gezielte Gitterverspannung der Einfach-Quantenschicht zu gezielter herstellbaren und qualitativ hochwertigen Bauelementen mit der sättigbar absorbierenden Wirkung für einen Hochleistungslaser führt. Durch die Wahl der Schichtdicke der Einfach-Quantenschicht und ihrer Materialzusammensetzung kann gezielt ein gewünschtes Absorptionsverhalten in einer Schichtfolge eingestellt werden.

Das umgebende gasförmige Medium ist zweckmäßiger Weise Luft oder ein getrocknetes Gas, zum Beispiel Stickstoff. Überraschend zeigt der Einsatz eines erfindungsgemäßen Sättigbaren

Reflektors oder Absorbers in einem Laserresonator hervorragende Eigenschaften. Zum Beispiel werden die, für eine Bildprojektion mittels Laserstrahlung notwendigen, hinreichend kurzen Laserimpulse im Pikosekundenbereich bei einer entsprechenden Leistungsfestigkeit, die einer CW-Ausgangsleistung von 40 Watt entspricht, erzeugt. Seine Eigenschaften sind wenig temperaturabhängig. Eine Kühlung ist nur zur Abführung der entstehenden Verlustwärme erforderlich. Die zeitliche Konstanz der Ausgangsleistung, des Pulsabstandes und der Pulsdauer sind über die Zeitdauer eines Tages nahezu konstant.

Überraschend hat sich weiterhin gezeigt, daß sich das aus der Gitterverspannung der Einfach-Quantenschicht mit mindestens einer der umgebenden Schichten ergebende Absorptionsverhalten in Abhängigkeit von der Wellenlänge so einstellen läßt, daß ein ausgeprägtes Absorptionsmaximum bei der vorgesehenen Laserwellenlänge  $\lambda_L$  sich ergibt.

Die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht unterliegt hier keiner Fabry-Perot-Resonanzbedingung. Sie liegt aber anwendungsbedingt und somit zwangsläufig innerhalb der sich in einem Laserresonator ausbildenden stehenden Wellen. Ihre Funktion ist vergleichbar mit der eines Farbstoff-Absorbers in einem Farbstoff-Laser oder Nd:YAG-Lasers.

Praktisch wird der Reflektor so ausgelegt, daß mit einer möglichst geringen Anzahl von Einzelschichten ein vorgegebener hoher Reflexionsgrad für die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  erreicht wird. Ein Reflexionsgrad von 98% ist im allgemeinen für den Laserbetrieb im gesättigtem Zustand ausreichend. So sind zum Beispiel nur etwa 30 Einzelschichten für einen Bragg-Reflektor erforderlich. Diese vergleichsweise geringe Anzahl von Einzelschichten erfordert einen entsprechend geringen Herstellungsaufwand. Viel weniger Schichten sind bei einem Metallspiegel erforderlich.

Wichtiger ist jedoch, daß die vergleichsweise geringe Anzahl von Einzelschichten der erfindungsgemäßen Bauelemente in Verbindung mit einer entsprechenden Beherrschung und Führung der Beschichtungsverfahren zu einem sehr homogenen Schichtaufbau senkrecht zur Strahlrichtung der laserinternen Strahlung führt. Dieses wiederum ermöglicht die Verwendung einer vergleichsweise geringen Fokussierung der laserinternen Strahlung auf den Sättigbaren Reflektor oder den Sättigbaren Absorber. Der Spot-Durchmesser auf dem jeweiligen Bauelement kann hier mehr als 200  $\mu\text{m}$  betragen und kann bis etwa 5 mm aufgeweitet werden, wobei eine saubere, konstante Modensynchronisation des Lasers erfolgt.

Dieser vergleichsweise große Spot-Durchmesser reduziert die Leistungsdichte innerhalb der sättigbar absorbierenden Schicht und ihrer unmittelbaren Umgebung erheblich. Typisch ist ein Wert von kleiner 100  $\text{kW}/\text{cm}^2$  bis hin zu etwa 2  $\text{kW}/\text{cm}^2$ , bezogen auf cw-Betrieb des Lasers. In der Praxis wird aber möglichst nahe an der Belastbarkeitsgrenze des Sättigbaren Reflektors oder des Sättigbaren Absorbers gearbeitet, um eine maximale Laserausgangsleistung über eine vorgegebene Lebensdauer der Laserstrahlungsquelle zu erzielen. Der vergleichsweise große Spot auf dem Sättigbaren Reflektor oder auf dem Sättigbaren Absorber im Laserresonator erlaubt dort eine vergleichsweise niedrige Leistungsdichte bei einer hohen Ausgangsleistung des Lasers, die im Bereich bis über 40 W liegen kann.

Die Gitterverspannung der Einfach-Quantenschicht erfolgt bei dem Sättigbaren Reflektor mit der auf deren einer Seite angrenzenden letzten Schicht eines Reflektors und/oder mit der auf deren anderen Seite angrenzenden Deckschicht, entsprechend bei einem Sättigbaren Absorber mit der Deckschicht und/oder mit dem Substrat.

Die genannten Schichten bilden mit der Einfach-Quantenschicht eine Heterostruktur, d.h. es bildet sich ein sogenannter Quantentopf. Die Erfindung ermöglicht eine einfache Berechnung bzw. Dimensionierung eines Sättigbaren Reflektors oder Absorbers mit der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht-Heterostruktur, da die Funktion der Einzelbauelemente Reflektor und/oder gitterverspannte Einfach-Quantenschicht-Heterostruktur deren Grundlage sind. Durch die bewußte Dimensionierung der Gitterverspannung der Einfach-Quantenschicht und ihrer Schichtdicke ist eine einfache neue Möglichkeit gegeben, die Absorptionseigenschaften der Einfach-Quantenschicht in weiten Grenzen gezielt zu beeinflussen und genau auf die Laserwellenlänge des Festkörperlaser abzustimmen. Wählbare Parameter zur Dimensionierung eines der erfindungsgemäßen Bauelemente für eine Laserwellenlänge sind die Materialauswahl für die Heterostruktur und die Dicke der Einfach-Quantenschicht.

Weiterhin werden durch die Abstände der Lage der Einfach-Quantenschicht zum Reflektor und zu der Grenzfläche der Deckschicht zum umgebenden Medium oder , bei einem Sättigbaren Absorber, seine Lage im Laserresonator die sättigbar-absorbierenden Eigenschaften festgelegt. Das Absorptionsverhalten und die Lage der verspannten Einfach-Quantenschicht innerhalb der Schichtfolge bestimmen wesentlich die Pulsdauer eines modensynchronisierten Lasers, in dem eines der Bauelemente jeweils eingesetzt wird. Die Lage der für die Laserwellenlänge ausgelegten gitterverspannten Einfach-Quantenschicht innerhalb der Schichtfolge wird nach dem Kriterium der gewünschten oder erforderlichen Laserfestigkeit des Resonatorspiegels oder des Sättigbaren Absorbers und der Pulswiederholfrequenz festgelegt. Dies ist jedoch optimal nur im Zusammenhang mit der konkreten Dimensionierung des Laserresonators, d.h. der gewünschten Ausgangsleistung und des Strahlquerschnittes möglich. Wichtig ist, daß die Lage der verspannten Einfach-Quantenschicht von einem Stehwellenminimum der Laserstrahlung im Laserresonator soweit entfernt liegt, daß die gewünschte sättigbar absorbierende Wirkung erhalten wird, die die kurzen Laserpulse im Pikosekunden-Bereich erzeugt. Die verspannte Einfach-Quantenschicht ist daher vorzugsweise außerhalb eines Intensitätsmaximums der Laserstrahlung angeordnet. Praktisch nutzt die Erfindung eine Stellung der Einfach-Quantenschicht innerhalb der Schichtfolge, die zwischen einem Stehwellenmaximum und einem Stehwellenminimum der Laserstrahlung liegt.



Es erfordert den geringsten Aufwand, die Einfach-Quantenschicht mit der letzten Schicht (der am weitesten außen liegenden Schicht) des Reflektors zu verspannen. Es bringt jedoch Einschränkungen bei der Materialauswahl und der Verfahrenstechnik mit sich, wenn eine gewünschte Intensität der stehenden Welle in der sättigbar absorbierenden Schicht reproduzierbar eingestellt werden soll, da diese dann zusätzlich nur über das Material und die Dicke der Deckschicht einstellbar ist. Da diese Deckschicht vornehmlich passivierende und gegebenenfalls auch antireflektierende Eigenschaften haben muß, ist die Auswahl geeigneter Materialien stark eingegrenzt.

In einer weiteren Ausführungsform des Sättigbaren Reflektors ist dieser vorteilhafterweise jeweils mit einer Zwischenschicht versehen, die auf der letzten Schicht des Reflektors ist, oder bei dem Sättigbaren Absorber ist die Zwischenschicht auf das Substrat aufgebracht. Die Schichtfolge enthält daher die zum Reflektor oder Substrat hin angrenzende Zwischenschicht. Die Zwischenschicht sollte gegenüber der letzten Schicht des Reflektors oder gegenüber dem Substrat spannungsfrei sein. Insbesondere bei einem Bragg-Reflektor ist die Spannungsfreiheit der Schichten eine wichtige Voraussetzung für eine stabile Funktion. Auf die Zwischenschicht ist die Einfach-Quantenschicht gitterverspannt aufgebracht. Auf der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht ist dann die Deckschicht aufgebracht. Die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht bildet mit der Zwischenschicht und der Deckschicht eine Heterostruktur. Mit der Wahl der Dicken der Zwischenschicht und der Deckschicht kann die sättigbar absorbierende Wirkung des Sättigbaren Reflektors oder des Sättigbaren Absorbers sehr einfach reproduzierbar erreicht werden, so daß sein Einsatz in einem Laserresonator die gewünschten kurzen modensynchronisierten Laserimpulse liefert.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Sättigbaren Reflektors oder des Sättigbaren Absorbers besteht darin, daß die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht in das Material der Zwischenschicht eingebettet ist, wobei die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht mit den Teilen der Zwischenschicht eine Heterostruktur bildet. Hier hat sich gezeigt, daß der Grad der Gitterverspannung der Einfach-Quantenschicht reproduzierbarer herstellbar ist und die Eigenschaften der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht nicht durch andere Materialeigenschaften der Deckschicht beeinflußt werden.

Durch die Wahl der gleicher oder verschiedener Schichtdicken der Teile der Schichten erhält man eine weitere Möglichkeit zur Einstellung der Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht zum sich ausbildenden Stehwellenverlauf innerhalb des Laserresonators und damit seiner Schaltwirkung und Leistungsfestigkeit. Diese Maßnahmen werden entsprechend auch bei dem erfindungsgemäßen Sättigbaren Absorber vorgesehen und führen zu den entsprechenden Wirkungen. Die sättigbare Wirkung derartiger Bauelemente wird allgemein durch eine Wahl der Position innerhalb der stehenden Wellen eines Laserresonators festgelegt.

Ein besonders günstiger Schichtaufbau wird erreicht, wenn im Reflektor oder im Substrat, d.h. innerhalb der Schichtfolge des Reflektors und zu dem Substrat, und der jeweils darauf aufgewachsenen Zwischenschicht keine oder im Vergleich zur Verspannung der Einfach-Quantenschicht nur geringe Gitterverspannungen auftreten. Das bedingt, daß die Unterschiede der Gitterabstände der Materialien des Reflektors und/oder des Substrates und des Materials der Zwischenschicht kleiner 0,005 nm, insbesondere kleiner als 0,001 nm sind. Zur Erfüllung dieser Forderung und für die Minimierung des Aufwandes zur Herstellung des Sättigbaren Reflektors oder Sättigbaren Absorbers ist es besonders vorteilhaft, wenn einer der Stoffe, die zum Aufbau des Reflektors oder Substrates eingesetzt werden auch mit zum Aufbau der Zwischenschicht verwendet wird.

Der Reflektor ist für viele Laseranwendungen insbesondere als Bragg-Reflektor für einen vorgegebenen Reflexionsgrad (Anzahl der Schichtfolgen) aufgebaut. Der Sättigbare Reflektor besteht aus dem Bragg-Reflektor, der aus einem ersten Material mit einem Brechungsindex  $n_H$  und aus einem zweiten Material mit dem niedrigeren Brechungsindizes  $n_L$  besteht, weiterhin die Zwischenschicht und/oder die Deckschicht aus einem dieser Materialien besteht.

Der Reflektor kann aber auch ein hochreflektierender Metallspiegel sein, auf dem die Schichtfolge mit der sättigbar absorbierenden Schicht aufgebracht ist. In diesem Fall kann mit der geringsten Schichtanzahl gearbeitet werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung eines Sättigbaren Reflektors besteht darin, daß das Substrat aus Galliumarsenid (GaAs) besteht und der Reflektor ein Bragg-Reflektor ist, der aus Einzelschichten besteht, die jeweils eine Dicke haben, die für das erste Material mit dem Brechungsindex  $n_H$  mit undotiertem Galliumarsenid (GaAs)  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{GaAs}}$  und die für das zweite

Material mit dem niedrigeren Brechungsindizes  $n_L$  mit undotiertem Aluminiumarsenid (AlAs)  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{AlAs}}$  betragen, die Zwischenschicht aus Galliumarsenid (GaAs) ist, auf der oder innerhalb

derer die Einfach-Quantenschicht aus Indium-Galliumarsenid ( $In_xGa_{1-x}As$ ) gitterverspannt ist, wobei der Indium-Anteil ( $x$ ) und der Gallium-Anteil ( $1-x$ ) in der Indium-Galliumarsenid-Verbindung und deren Schichtdicke die absorbierende Wirkung als Funktion innerhalb eines Wellenlängenbereiches festlegen, dieser Wellenlängenbereich die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  beinhaltet, bei dieser Laserwellenlänge ein Maximum des Absorptionsverlaufes liegt.

Die Sättigungswirkung des Sättigbaren Bragg-Reflektors innerhalb eines Laserresonators wird durch die Lage der verspannten Einfach-Quantenschicht zu der Grenze des Reflektors festgelegt. Der Bragg-Reflektor besteht aus 15 bis 50 Einzelschichten, die Spiegelpaare bilden. Die Zahl der Spiegelpaare bestimmt seinen Reflektivitätsgrad (siehe *Orazio Svelto: „Principles of Lasers“ fourth edition Plenum Press 1998*). Zum Beispiel wird mit 28 Spiegelpaaren eine Reflektivität des Resonatorspiegels von 98,77% erreicht. Praktisch wird immer angestrebt, mit möglichst wenigen Schichten zu arbeiten.

Die Eigenschaften des Materialsystem Galliumarsenid/Aluminiumarsenid sind ausreichend untersucht, so daß diese Materialien mit der erforderlichen Homogenität der Schichtdicken und des Schichtaufbaues vergleichsweise einfach auf das Substrat aus Galliumarsenid epitaktisch aufgewachsen werden können.

Die Dimensionierung einer gitterverspannten Einfach-Quantenschicht aus Indium-Galliumarsenid ( $In_{1-x}Ga_xAs$ ) in Galliumarsenid (GaAs) erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst muß der Absorptionsverlauf der verspannten Einfach-Quantenschicht als Funktion der Wellenlänge und in Abhängigkeit von ihrer Schichtdicke ermittelt werden, wie diese aus der Literatur zum Teil zu entnehmen ist; siehe *J.-Y. Marzin, M. N. Charasse und B. Sermage: „Optical investigation of a new type of valence-band configuration in  $In_xGa_{1-x}As - GaAs$  strained superlattices“ Phys. Rev., vol. B31, pp 8298-8301, 1985; dort insbesondere Fig.2.*

Für die gewünschte Wellenlänge des Laserlichtes sind viele Wertepaare für eine Schichtdicke und eine Materialzusammensetzung auswählbar, bei der die verspannte Einfach-Quantenschicht ein Absorptionsmaximum zeigt.

Nun erfolgt durch Anwendung des in R. M. Kolbas, N. G. Anderson, W. D. Laidig, Yongkun Sin, Y. C. Lo, K. Y. Hsien, Y. J. Yang: „Strained-Layer InGaAs-GaAs-AlGaAs Photopumped and Current Injection Lasers“ *IEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 24, No. 8, 1988 veröffentlichten Diagramms (dort Fig.2) eine Auswahl eines der ermittelten Wertepaare für die vorgesehene Wellenlänge des Lasers.

Gitterverspannte Einfach-Quantenschichten fanden bisher bei der Herstellung von Halbleiterlasern Anwendung. Überraschend hat sich jedoch gezeigt, daß die grundsätzliche Vorgehensweise der Schichtdimensionierung und Schichtbildung auf die Herstellung eines Sättigbaren Bragg-Reflektors übertragen werden kann. Hier erfolgt die Dimensionierung des Indium-Anteils  $x$  und der Schichtdicke und damit eines gewünschten Absorptionsverhaltens so, daß ein ausgeprägtes Maximum des Absorptionsverlaufes in einem Wellenlängenbereich bei der Laserwellenlänge eines Festkörper-Laserresonators liegt.

Für eine Laserwellenlänge von 1064 nm ergibt sich bei einer Dicke der Einfach-Quantenschicht von etwa 7 nm ein Indiumanteil zu 33%, wie aus der Fig. 2 in R. M. Kolbas, N. G. Anderson, W. D. Laidig, Yongkun Sin, Y. C. Lo, K. Y. Hsien, Y. J. Yang: „Strained-Layer InGaAs-GaAs-AlGaAs Photopumped and Current Injection Lasers“ *IEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 24, No. 8, 1988 entnommen werden kann, wenn der Bandabstand

$E$  [in eV] gemäß der Formel  $\lambda = \frac{h \cdot c}{E}$  in die Wellenlänge, hier die Laserwellenlänge  $\lambda_L$ ,

umgerechnet wird. Das Sättigungsverhalten und damit das in einem Laserresonator erzeugte Schaltverhalten und damit die Pulsdauer sind besonders gut und reproduzierbar durch die Wahl der Lage der verspannten Indium-Galliumarsenid-Schicht innerhalb der Zwischenschicht einstellbar. Pulsdauer und Absorptionsverhalten bestimmen wiederum die Leistungsfestigkeit des Sättigbaren Reflektors in einem Laserresonator.

Die Galliumarsenid-Schichten der Zwischenschicht dienen damit immer zur Verspannung für die vergleichsweise dünne Einfach Quantenschicht aus Indium-Galliumarsenid und dient gleichzeitig als Schutzschicht zu den umgebenden Medien hin.

Die verspannte Indium-Galliumarsenid-Schicht ist in einem speziellen Fall innerhalb von zwei optisch etwa  $\lambda_L/4$  Dicken Galliumarsenid-Schichten eingebettet. Dann steht die Indium-Galliumarsenid-Schicht in Verbindung mit dem Bragg-Reflektor im Stehwellenmaximum innerhalb eines Laserresonators. Dies hat den Nachteil einer maximalen Energiedichte an dieser Stelle. Dieser Nachteil wird aber dadurch beseitigt, daß der Durchmesser des in den Resonatorspiegel einfallenden Strahlenbündels vergleichsweise sehr groß eingestellt wird, statt üblicherweise 10  $\mu\text{m}$  Spot-Durchmesser können mehr als 200  $\mu\text{m}$  Spot-Durchmesser eingestellt werden. Dies ist jedoch nur bei einem sehr homogenen Schichtaufbau möglich, der durch den vergleichsweise sehr einfachen Schichtaufbau und die vergleichsweise geringe Zahl von Einzelschichten begünstigt wird.

Die Indium-Galliumarsenid-Schicht ist eine Low-Temperature-Schicht. Die Wachstumstemperatur sollte unter 500°C liegen, um die Lebensdauer der Ladungsträger zu verringern und hinreichend kurze Laserpulse zu erzeugen. Jedoch ist mit einer Low-Temperature-Schicht gewährleistet, daß der Sättigbare Absorber auch bei einer Optimierung des Schichtaufbaues hinsichtlich seiner Leistungsfestigkeit hinreichend kurze Laserimpulse liefert, die für viele technische Anwendungen im Bereich von 1 bis 10 Pikosekunden günstig liegen. Technische Anwendungen sind zum Beispiel die Materialbearbeitung oder die Bildprojektion mittels Laserlicht. Vorteilhafterweise ist, wie oben allgemein beschrieben auf der dem Bragg-Reflektor abgewandten, äußeren Galliumarsenid-Schicht eine Entspiegelungsbeschichtung als Deckschicht aufgebracht. Die Entspiegelungsbeschichtung ist für die eine Laserwellenlänge  $\lambda_L$  ausgelegt, wobei deren Brechzahl nach  $\sqrt{n_{GaAs}}$  ist und mit  $n_{GaAs}$  für die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  gerechnet wird, wobei ein Reflexionsgrad kleiner 1% ohne besondere Aufwendungen erreichbar ist. Für die Laserwellenlänge  $\lambda_L = 1064$  ist die Entspiegelungsbeschichtung aus einer Schicht Siliziumoxinitrid hergestellt.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß das Substrat aus Indiumphosphid (InP) besteht und daß der Bragg-Reflektor aus

Einzelschichten besteht, die jeweils eine  $\frac{\lambda_L}{4 * n}$  Dicke haben, wobei für das erste Material mit dem Brechungsindizes  $n_H$  mit Indium-Galliumarsenid ( $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ ) mit einem Indiumanteil von 53% und die für das zweite Material (5) mit dem niedrigeren Brechungsindizes  $n_L$  mit Indiumphosphid (InP) gerechnet wird,

weiterhin die Zwischenschicht aus Indiumphosphid (InP) ist, auf der oder innerhalb derer die Einfach-Quantenschicht (6) aus Indium-Galliumarsenid ( $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ) mit einem Indiumanteil  $x$  ungleich, insbesondere kleiner 0,53% gitterverspannt ist, und der Indiumanteil  $x$  und deren Schichtdicke die absorbierende Wirkung als Funktion innerhalb eines Wellenlängenbereiches festlegen, dieser Wellenlängenbereich die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  beinhaltet, bei der ein Maximum des Absorptionsverlaufes liegt und die Sättigungswirkung und die Leistungsfestigkeit durch die Wahl der Abstände der verspannten Einfach-Quantenschicht zu der Grenze des Reflektors festgelegt sind. Der Reflektor ist hier ein Bragg-Reflektor und besteht aus jeweils 30 bis 100 Einzelschichten.

Die Deckschicht ist eine Passivierungsschicht zur Umgebung und/oder eine Entspiegelungsbeschichtung. Die Passivierungsschicht oder die Entspiegelungsbeschichtung schützt die sehr dünne und chemisch instabile verspannte Einfach-Quantenschicht vor schädlichen Einflüssen der Umgebung. Die Passivierungsschicht ist so ausgelegt, daß diese die darunter liegenden Schichten schützt, deren optische Eigenschaften jedoch möglichst wenig beeinflusst. Die Entspiegelungsbeschichtung hat neben der Funktion eines Oberflächenschutzes zusätzliche optische Eigenschaften, die die Eigenschaften eines derartigen Sättigbaren Bragg-Reflektors gegenüber einer nicht entspiegelten Ausführung wesentlich beeinflusst. In jedem Fall ist der Einfluß der Deckschicht bei einer Berechnung des Sättigbaren Bragg-Reflektors mit zu berücksichtigen, wobei dessen praktische Wirkung nur im Betrieb in einem Laserresonator ermittelt werden kann.


In einem Laserresonator wird eine Verkürzung der Pulsdauer der Laserstrahlung gegenüber einer nicht entspiegelten Ausführung festgestellt, wenn die Entspiegelungsbeschichtung des Sättigbaren Bragg-Reflektors für die eine Laserwellenlänge  $\lambda_L$  ausgelegt ist.

Durch die Entspiegelungsbeschichtung wird auch eine weitere Erhöhung der Leistungsfestigkeit des Resonatorspiegels erreicht. Mit dieser Entspiegelungsbeschichtung wird der Sättigbare Absorber weder resonant noch antiresonant betrieben.

Er unterscheidet sich auch von denen, die in der Literatur als „low-finesse“ und oder „high-finesse“ bezeichnet werden. Er ist auch nicht breitbandig ausgelegt, sondern nur für die jeweilige Laserwellenlänge berechnet und hergestellt.


Weiterhin kann die Pulsdauer der Laserstrahlung in einem Laserresonator dadurch verkürzt werden, indem die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht als Niedrig-Temperatur-Schicht (Low-Temperature) aufgebracht wird, wobei die Pulsdauer niedriger wird, je niedriger die Wachstumstemperatur gewählt wird.

Besonders gute sättigbar absorbierende Eigenschaften der Bauelemente werden erreicht, wenn die Deckschicht mit der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht und der Zwischenschicht eine optische Dicke von  $\lambda_L/2$  oder ein ganzes Vielfaches davon hat und mit den anderen Dicken im Schichtaufbau eine Phasen Anpassung hergestellt wird.

 Die sättigbar absorbierende Wirkung durch die Wahl der Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht innerhalb des Aufbaues der angrenzenden Schichten einstellbar ist, wobei diese jeweils eine größere Schichtdicke als die der Einfach-Quantenschicht aufweisen.

Zur weiteren Steigerung der Laserfestigkeit des Sättigbaren Reflektors oder des Sättigbaren Absorbers ist das Substrat auf einer Wärmesenke befestigt. Diese Wärmesenke sichert neben der Abführung der Verlustleitung auch die geforderte hohe Konstanz der Peakleistung über die Zeit.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Figuren beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1: Aufbau eines Sättigbaren Bragg-Reflektors mit einer gitterverspannten Einfach-Quantenschicht auf Basis eines GaAs/AlAs-Systems,
- Fig. 2:  Aufbau eines Sättigbaren Bragg-Reflektors mit einer gitterverspannten Einfach-Quantenschicht und mit einer Antireflexbeschichtung,
- Fig. 3: Aufbau eines Sättigbaren Bragg-Reflektors mit einer eingebetteten gitterverspannten Einfach-Quantenschicht,
- Fig. 4: Aufbau eines Sättigbaren Reflektors mit einer eingebetteten gitterverspannten Einfach-Quantenschicht auf einem metallischen Reflektor,
- Fig. 5: Aufbau eines Sättigbaren Absorbers mit einer eingebetteten gitterverspannten Einfach-Quantenschicht auf einem transparenten Substrat.

Die Erfindung wird an Beispielen eines Sättigbaren Bragg-Reflektors, eines Sättigbaren Reflektors und eines Sättigbaren Absorbers für das Schichtsystems AlAs/GaAs mit  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  als gitterverspannte Einfach-Quantenschicht beschrieben. Die für dieses Schichtsystem hier mitgeteilten, ergänzt durch dem Fachmann allgemein bekannten Dimensionierungsrichtlinien und Herstellungstechnologien, sind ohne weiteres auf andere Schichtsysteme übertragbar, die zur Herstellung eines Sättigbaren Reflektors oder Absorbers Anwendung finden können. Insbesondere gilt dies für die Materialien GaAs, GaP, GaSb, InAs, InP, InSb, AlAs, AlP, AlSb und deren Legierungen (siehe auch Fig. 15 in US 4,597,638).

Für die genannten und andere Materialien und andere Laserwellenlängen müssen gegebenenfalls die genannten entsprechende Funktionsverläufe und Abhängigkeiten ermittelt werden, um eine gezielte Dimensionierung für jedes der Bauelemente vornehmen zu können.

Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Schichtaufbau eines Sättigbaren Bragg-Reflektors mit einer gitterverspannten Einfach-Quantenschicht 6, die auf einer letzten Schicht 4' eines Reflektors 2 aufgebracht ist. Der Reflektor 2 ist im Beispiel ein Bragg-Reflektor. Eine gitterverspannte Einfach-Quantenschicht 6 und eine Deckschicht 7 bilden eine weitere Schichtfolge 3.

Auf einem Substrat 1 sind 28 Schichtpaare aus einem Material 4 mit einem höheren Brechungsindex  $n_H$  und aus einem Material 5 mit einem niedrigeren Brechungsindex  $n_L$  aufgebaut, die den Bragg-Reflektor bilden. Die Dicken  $d$  der Einzelschichten ergeben sich aus den Brechzahlen der Materialien 4 und 5 für die jeweilige Laserwellenlänge  $\lambda_L = 1064 \text{ nm}$  zu

$\frac{\lambda_L}{4 * n_H}$  und  $\frac{\lambda_L}{4 * n_L}$ . Im Beispiel ist das höher brechenden Material 4 GaAs ( $n=3,4918$ ) und

das niedriger brechenden Material 5 AlAs ( $n=2,9520$ ).

Die Berechnung des Bragg-Reflektors kann nach *Orazio Svelto: Prinziples of Lasers“ Plenum Press, fourth edition 1998*) erfolgen. Die Schichtdicken der Einzelschichten sind bei einer

Laserwellenlänge  $\lambda_L = 1064 \text{ nm}$  für Galliumarsenid  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{\text{GaAs}}}$  mit jeweils 76 nm und für

Aluminiumarsenid  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{\text{AlAs}}}$  mit jeweils 90 nm bestimmt.



Auf der letzten Schicht 4' des Reflektors 2 aus GaAs ist die Einfach-Quantenschicht 6 aus  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  und auf dieser die Deckschicht 7 aus GaAs aufgebracht. Im Beispiel ist die Einfach-Quantenschicht zwischen den zwei Galliumarsenid-Schichten gitterverspannt. Für eine Laserwellenlänge von 1064 nm ergibt sich bei einer Dicke der Einfach-Quantenschicht von 7 nm ein Indiumanteil zu 33%, wie aus der Fig. 2 in R. M. Kolbas, N. G. Anderson, W. D. Laidig, Yongkun Sin, Y. C. Lo, K. Y. Hsien, Y. J. Yang: „Strained-Layer InGaAs-GaAs-AlGaAs Photopumped and Current Injection Lasers“ *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 24, No. 8, 1988 entnommen werden kann, wenn der Bandabstand  $E$  [in eV] gemäß der

Formel  $\lambda = \frac{h \cdot c}{E}$  in die Wellenlänge, hier die Laserwellenlänge  $\lambda_L$ , umgerechnet wird.

Das Sättigungsverhalten und damit das in einem Laserresonator erzeugte Schaltverhalten und damit die Pulsdauer sind besonders einfach und reproduzierbar durch die Wahl des Abstandes der gitterverspannten Indium-Galliumarsenid-Schicht von der Grenzfläche zu einem umgebenden Medium 10 des Laserresonators einstellbar. Der Abstand wird durch die Dicke der Deckschicht 7 bestimmt. Diese muß so bemessen sein, daß einerseits die gewünschte sättigbar absorbierende Wirkung zur Modensynchronisation innerhalb einer Laserkavität erreicht wird und andererseits eine Grenze der Leistungsfestigkeit der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht 6 nicht überschritten wird.

In der Praxis hat sich gezeigt, daß sich das Schaltverhalten eines Sättigbaren Bragg-Reflektors, der nur ein Teil eines Laserresonators ist, nicht ausreichend genau theoretisch voraussagen läßt. Daher wird man durch wenige Versuche die optimale Schichtdicke der Deckschicht 7 ermitteln, so daß die in den Sättigbaren Bragg-Reflektor einfallende und rückreflektierte Intensität der Laserstrahlung die Sättigung in dem entsprechenden Grad zur Erzeugung kurzer Laserpulse in einem Laserresonator liefert. Wichtig ist, daß die Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht 6 von der Lage eines Stehwellenminimums der Laserstrahlung soweit entfernt liegen muß, daß die erforderliche sättigbar absorbierende Wirkung erhalten wird, um kurze Laserpulse zum Beispiel im Pikosekunden-Bereich zu erzeugen. Im Beispiel wurde die Dicke der Deckschicht 7 mit 100 nm gewählt

**Fig. 2** zeigt einen Schichtaufbau, bei dem dessen Schichtfolge 3 gegenüber der in **Fig. 1** verändert ist. In diesem Beispiel bilden die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht 6, die Deckschicht 7 und eine Antireflexbeschichtung 8 die Schichtfolge 3. Durch die Antireflexbeschichtung 8 aus SiON wird der an der Grenzfläche zum umgebenden Medium 10 reflektierte Anteil der Laserstrahlung reduziert, so daß sich innerhalb des Sättigbaren Bragg-Reflektors ein höherer Energieeintrag einstellt, der das Schaltverhalten verändert.

Diese Antireflexbeschichtung 8 besteht aus einer  $\frac{\lambda_L}{4 * \sqrt{n_{GaAs}}}$  nm dicken Siliziumoxonitrid-

Schicht. Auch hier ist es am zweckmäßigsten, die optimale Dicke der Zwischenschicht 7 experimentell zu bestimmen.

**Fig. 3** zeigt einen Schichtaufbau, bei dem dessen Schichtfolge 3 gegenüber der in **Fig. 1** verändert ist. In diesem Beispiel bilden die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht 6, die Deckschicht 7 und eine Zwischenschicht 9 die Schichtfolge 3. Die Zwischenschicht 9 ist aus GaAs, auf der die Einfach-Quantenschicht (6) aus  $In_xGa_{1-x}As$  mit einem Indiumanteil  $x = 0,15$  aufgebracht ist.

Hier ist hervorzuheben, daß die Einfach-Quantenschicht 6 zwischen zwei GaAs-Schichten gitterverspannt ist, wobei keine der Schichten Bestandteil des Bragg-Reflektors ist.

Die Schichtdicke der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht wird mit 10 nm festgelegt, so daß ein Maximum der Absorption bei 910 nm liegt. Bei dieser Wellenlänge liegt in diesem Beispiel die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  (siehe dazu auch **Fig. 2** in *J.-Y. Marzin, M. N. Charasse und B. Sermage „Optical investigation of a new type of valence-band configuration in  $In_x Ga_{1-x} As - GaAs$  strained superlattices“ *Phys. Rev.*, vol. B31, pp 8298-8301, 1985. Eine andere Dicke und eine andere Materialzusammensetzung der Einfach-Quantenschicht 6 liefern ein Absorptionsmaximum bei einer anderen Laserwellenlänge (siehe **Fig. 2** in *R. M. Kolbas, N. G. Anderson, W. D. Laidig, Yongkun Sin, Y. C. Lo, K. Y. Hsien, Y. J. Yang: „Strained-Layer InGaAs-GaAs-AlGaAs Photopumped and Current Injection Lasers“ IEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 24, No. 8, 1988).**

Hier kann durch eine Festlegung der Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht 6 innerhalb der aus der Deckschicht 7 und der Zwischenschicht 9 bestehenden GaAs-Schichten die gewünschte sättigbar absorbierende Wirkung eingestellt werden. Ein weiterer Vorteil ist, daß die Gesamtdicke der Schichtfolge 3 sehr gut auf die Laserwellenlänge abgestimmt werden kann, so daß Phasensprünge an den Grenzflächen der Materialien vermindert werden oder gar nicht auftreten.

Durch die Wahl der Position der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht 6 zwischen der Zwischenschicht 9 und der Deckschicht 7 ist eine einfache Möglichkeit gegeben, die Strahlungsfestigkeit und die sättigbar absorbierende Wirkung (Impulsform) in weiten Grenzen gezielt zu beeinflussen.

Die Schichtfolge 3 soll insbesondere ein ganzzahliges Vielfaches  $i$ , mit  $i = 1, 2, 3, \dots$  von  $\frac{\lambda_L}{2}$  optisch dick sein, wobei  $i$  in der Regel mit 1, 2 oder 3 gewählt ausreichend ist.

Die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht 6 muß jedoch immer von einem Stehwellenminimum der Laserstrahlung soweit entfernt liegen, daß die erforderliche sättigbar absorbierende Wirkung erhalten wird. Ist die Einfach-Quantenschicht im Stehwellenmaximum der Laserstrahlung angeordnet, wurden in einem Laseraufbau die kürzesten Impulsdauern beobachtet. Allerdings wurde in dieser Lage die geringste Leistungsfestigkeit des Resonatorspiegels festgestellt. Auch hier hat sich gezeigt, daß die Impulsform der Laserstrahlung von der Art des Laserresonators abhängig ist, so daß es zweckmäßig ist, durch mehrere Versuche zu ermitteln, wo die günstigste Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht 6 innerhalb der beiden GaAs-Schichten 7 und 9 ist, wobei beide Schichten jeweils eine Mindestdicke von  $\frac{\lambda_L}{100}$  haben sollten um genügend weit

von einem Stehwellenminimum entfernt zu sein und um die Gitterverspannung zu erzeugen.

Die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht 6 ist vorzugsweise außerhalb eines Intensitätsmaximums der Laserstrahlung angeordnet. Praktisch nutzt die Erfindung eine Stellung der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht innerhalb der Schichtfolge, die zwischen dem Stehwellenmaximum und dem Stehwellenminimum der Laserstrahlung liegt. Auch hier kann die Deckschicht 7 mit der Antireflexbeschichtung 8 beschichtet sein, um den Energieeintrag in den Sättigbaren Reflektor zu erhöhen (nicht dargestellt).

**Fig. 4** zeigt den Aufbau eines Sättigbaren Reflektors, bei dem die Schichtfolge 3 mit einem Metallspiegel 11 aus Silber verbunden ist. In der WO 96/36906 (Fig. 9) ist beispielhaft beschrieben, wie ein derartiger Schichtaufbau im Prinzip herstellbar ist. Neu ist hier die Dimensionierung der Schichtfolge 3, die die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht enthält, die nach den in Fig. 1, Fig. 2 und Fig. 3 genannten Methoden zu dimensionieren ist. In diesem Beispiel ist die Einfach-Quantenschicht aus  $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , die zwischen der Deckschicht 7 und der Zwischenschicht 9, beide aus  $\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y}\text{As}$ , gitterverspannt. Mit dem Al-Anteil „y“ kann die Brechzahl der Schichten variiert werden, wobei bei einem hohen Al-Anteil „y“ der Legierungsbestandteil AlAs an der Oberfläche zur Oxidation neigt. Der Gitterabstand ändert sich bei dieser y-Variation nur gering, siehe z.B. auch Fig.15 in der US 4,597,638.

**Fig. 5** zeigt den Aufbau eines Sättigbaren Absorbers (ohne Reflektor!), der alleinstehend innerhalb des Strahlenganges eines Laserresonators, zwischen einem der Resonatorspiegel und einem Lasermedium angeordnet ist.

Auf ein für die Laserwellenlänge transparentes Substrat 1 aus GaAs ist die Schichtfolge 3 aus der Zwischenschicht 9, der verspannten Einfach-Quantenschicht 6 und der Deckschicht 7 aufgebracht. In diesem Beispiel gehören weiterhin die Antireflexbeschichtungen 8 zum umgebenden Medium 10 zum Schichtaufbau.

Die Dimensionierung der Schichtfolge 3, die die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht 6 enthält, erfolgt nach den in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 4 und Fig. 4 aufgezeigten Methoden.

## Patentansprüche

1. Sättigbarer Reflektor für eine Laserwellenlänge  $\lambda_L$ , bei dem auf einer Oberfläche eines Substrates (1) ein Reflektor (2) und auf diesem eine Schichtfolge (3) mit einer sättigbar absorbierenden Wirkung aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Schichtfolge (3) eine gitterverspannte Einfach-Quantenschicht (6) und eine Deckschicht (7) enthält, wobei die Materialzusammensetzung der Einfach-Quantenschicht (6), ihre Schichtdicke und ihre Verspannung im Schichtaufbau innerhalb eines Wellenlängenbereiches eine absorbierende Wirkung festlegen, dieser Wellenlängenbereich die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  beinhaltet, weiterhin der Grad der sättigbaren Wirkung durch eine Wahl des Abstandes zwischen der verspannten Einfach-Quantenschicht (6) zur Grenzfläche der Deckschicht zu einem umgebenden gasförmigen Medium (8, 10) festgelegt ist.

2. Sättigbarer Reflektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterverspannung der Einfach-Quantenschicht (6) mit der auf einer Seite angrenzenden letzten Schicht (4') des Reflektors und/oder mit der auf deren anderen Seite angrenzenden Deckschicht (7) erfolgt.

3. Sättigbarer Reflektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtfolge (3) eine zum Reflektor (2) hin angrenzende spannungsarme Zwischenschicht (9) enthält, und daß die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht (6) von dieser Zwischenschicht (9) und der Deckschicht (7) eingeschlossen ist.

4. Sättigbarer Reflektor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Zwischenschicht (9) mit dem Material der Deckschicht (7) identisch ist.

5. Sättigbarer Reflektor nach Anspruch 3 oder Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterschiede der Gitterabstände der Materialien (4, 5) des Reflektors und des Materials der Zwischenschicht (9) kleiner 0,005 nm, insbesondere kleiner 0,001 nm sind.

6. Sättigbarer Reflektor nach einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektor ein Bragg-Reflektor ist, der aus einem ersten Material (4) mit einem Brechungsindex  $n_H$  und aus einem zweiten Material (5) mit dem niedrigeren Brechungsindizes  $n_L$  besteht, weiterhin die Zwischenschicht (9) und/oder die Deckschicht (7) aus einem dieser Materialien besteht.

7. Sättigbarer Reflektor nach einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektor (2) aus Einzelschichten besteht, die jeweils eine Dicke haben, die für das erste Material (4) mit dem Brechungsindex  $n_H$  mit undotiertem

Galliumarsenid (GaAs)  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{GaAs}}$  und die für das zweite Material (5) mit dem niedrigeren

Brechungsindizes  $n_L$  mit undotiertem Aluminiumarsenid (AlAs)  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{AlAs}}$  betragen, weiterhin

die Deckschicht (7) und die Zwischenschicht (9) aus einem dieser Materialien (4 oder 5) ist, innerhalb derer die Einfach-Quantenschicht (6) aus Indium-Galliumarsenid ( $In_xGa_{1-x}As$ ) gitterverspannt ist, wobei der Indium-Anteil (x) und der Gallium-Anteil (1-x) in der Indium-Galliumarsenid-Verbindung und deren Schichtdicke die absorbierende Wirkung als Funktion innerhalb eines Wellenlängenbereiches festlegen, dieser Wellenlängenbereich die Laserwellenlänge  $\lambda_L$  beinhaltet, bei der ein Maximum des Absorptionsverlaufes liegt.

8. Sättigbarer Reflektor nach einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektor (2) aus Einzelschichten besteht, die jeweils eine Dicke haben, die für das erste Material (4) mit dem Brechungsindizes  $n_H$  mit Indium-Galliumarsenid

( $In_{0,53}Ga_{0,47}As$ ) mit einem Indiumanteil von 53%  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{InGaAs}}$  und die für das zweite Material

(5) mit dem niedrigeren Brechungsindizes  $n_L$  mit Indiumphosphid (InP)  $\frac{\lambda_L}{4 * n_{InP}}$  betragen,

weiterhin die Deckschicht (7) und/oder die Zwischenschicht (9) aus einem dieser Materialien (4 oder 5) ist, unterhalb derer und/oder auf derer die Einfach-Quantenschicht (6) aus Indium-Galliumarsenid ( $In_xGa_{1-x}As$ ) mit einem Indiumanteil x ungleich 0,53% gitterverspannt ist, wobei der Indiumanteil x und deren Schichtdicke die absorbierende Wirkung als Funktion innerhalb eines Wellenlängenbereiches festlegen.

9. Sättigbarer Reflektor nach einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektor ein hochreflektierender Metallspiegel (11) ist, auf dem die Schichtfolge (3) aufgebaut ist.

10. Sättigbarer Reflektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht (7) eine Passivierungsschicht ist oder die Deckschicht (7) mit einer Entspiegelungsbeschichtung (8) beschichtet ist, die an ein gasförmiges Medium (10) grenzen.

11. Sättigbarer Reflektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht (6) eine Niedrig-Temperatur-Schicht ist.

12. Sättigbarer Reflektor nach einem der Ansprüche von 3 bis 8 oder Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht (7) mit der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht (6) und der Zwischenschicht (9) eine optische Dicke von  $\lambda_L/2$  oder ein ganzes Vielfaches davon hat.

13. Sättigbarer Reflektor nach einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die sättigbar absorbierende Wirkung durch die Wahl der Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht (6) innerhalb des Aufbaues der angrenzenden Schichten einstellbar ist, wobei diese jeweils eine größere Schichtdicke als die der Einfach-Quantenschicht aufweisen.

14. Sättigbarer Absorber für eine Laserwellenlänge  $\lambda_L$ , der aus einer Schichtfolge (3) mehrerer Halbleiterschichten mit einer sättigbar absorbierenden Wirkung auf einem für die Laserwellenlänge transparenten Substrat (1) aufgebaut ist **dadurch gekennzeichnet, daß** die Schichtfolge (3) eine gitterverspannte Einfach-Quantenschicht (6) und eine Deckschicht (7) enthält, wobei die Materialzusammensetzung der Einfach-Quantenschicht (6), ihre Schichtdicke und ihre Verspannung im Schichtaufbau innerhalb eines Wellenlängenbereiches eine absorbierende Wirkung festlegen, weiterhin eine sättigbare Wirkung durch eine Wahl des Position innerhalb der stehenden Wellen eines Laserresonators festgelegt ist.

15. Sättigbarer Absorber nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtfolge (3) eine zum Substrat (1) hin angrenzende spannungsarme Zwischenschicht (9) enthält, und daß die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht (6) von dieser Zwischenschicht (9) und der Deckschicht (7) eingeschlossen ist.

16. Sättigbarer Absorber nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Zwischenschicht (9) mit dem Material der Deckschicht (7) identisch ist.

17. Sättigbarer Absorber nach Anspruch 15 oder Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterschiede der Gitterabstände des Materials des Substrates (1) und des Materials der Zwischenschicht (9) kleiner 0,005 nm, insbesondere kleiner 0,001 nm sind.

18. Sättigbarer Absorber nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht (7) eine Passivierungsschicht ist oder die Deckschicht (7) mit einer Entspiegelungsbeschichtung (8) beschichtet ist, die an ein gasförmiges Medium (10) grenzen.

19. Sättigbarer Absorber nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die gitterverspannte Einfach-Quantenschicht (6) eine Niedrig-Temperatur-Schicht ist.

20. Sättigbarer Absorber nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht (7) mit der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht (6) und der Zwischenschicht (9) eine optische Dicke von  $\lambda/2$  oder ein ganzes Vielfaches davon hat.

21. Sättigbarer Reflektor nach einem oder mehreren der Ansprüche von 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die sättigbar absorbierende Wirkung durch die Wahl der Lage der gitterverspannten Einfach-Quantenschicht (6) innerhalb des Aufbaues der Schichten einstellbar ist, wobei diese jeweils eine größere Schichtdicke als die der Einfach-Quantenschicht aufweisen.



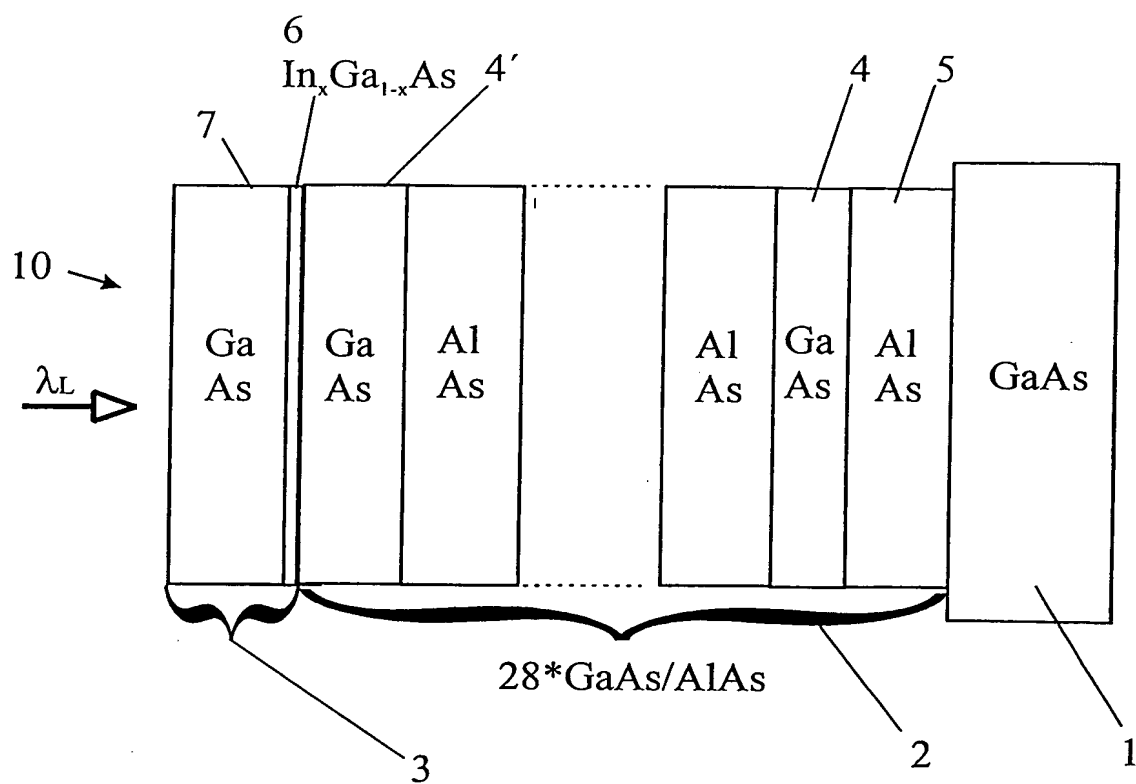


Fig. 1

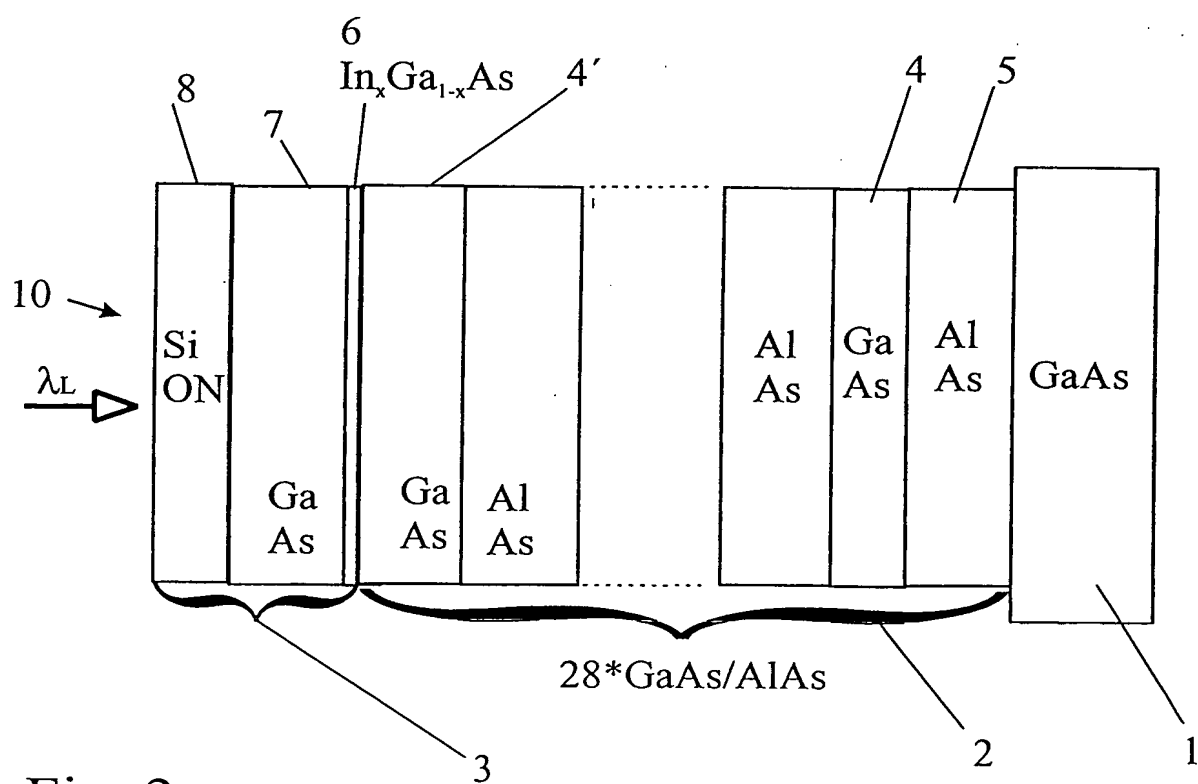


Fig. 2

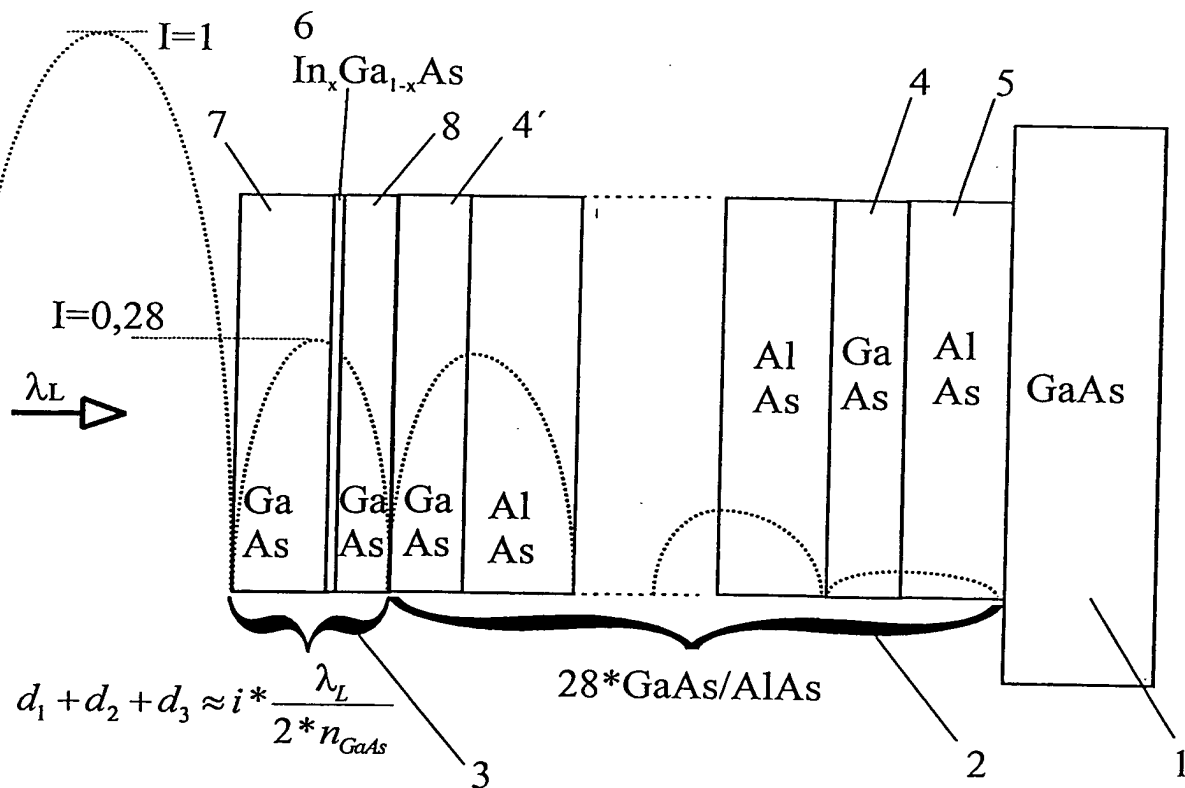


Fig. 3

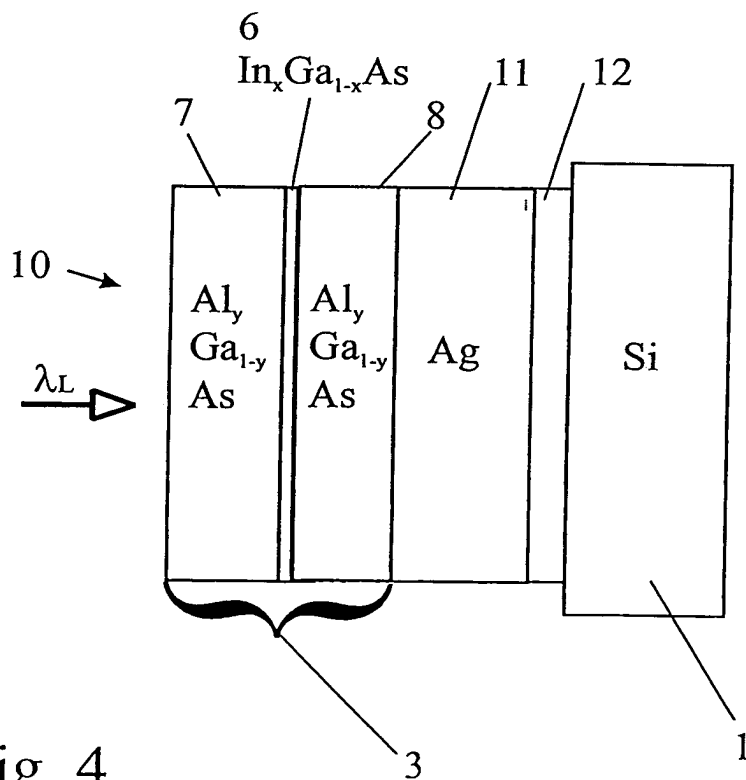


Fig. 4

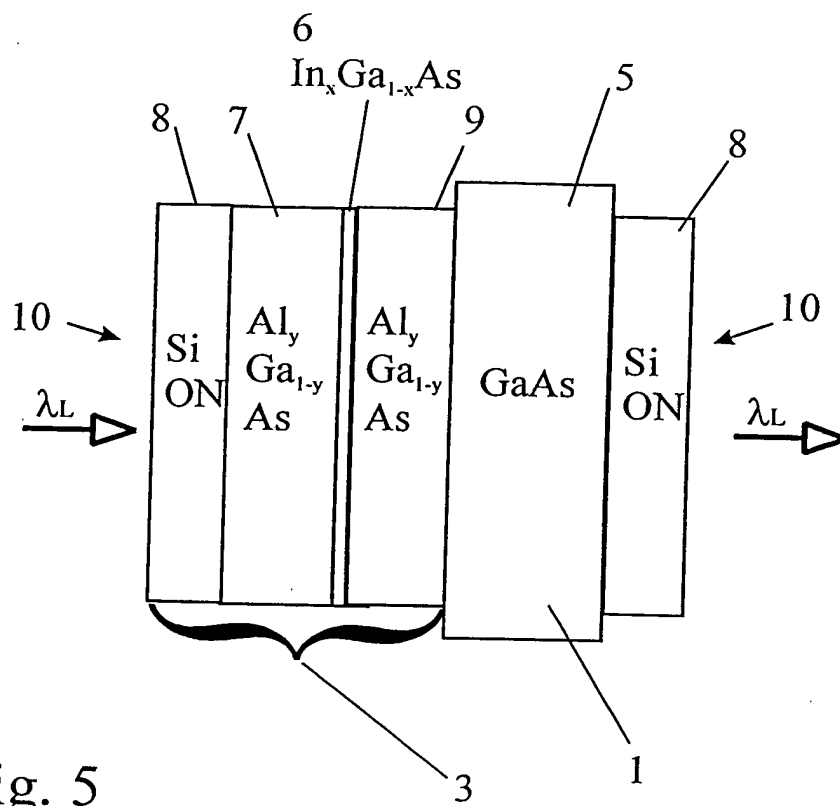


Fig. 5

## Zusammenfassung

### Sättigbarer Reflektor und Sättigbarer Absorber

Die Erfindung betrifft einen Sättigbaren Reflektor und einen Sättigbaren Absorber, welche als Schichtfolge (3) jeweils auf einem Substrat (1) angeordnet sind.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtfolge (3) eine Zwischenschicht 9, eine gitterverspannte Einfach-Quantenschicht (6) und eine Deckschicht (7) enthält, wobei

die Materialzusammensetzung der Einfach-Quantenschicht (6) ihre Schichtdicke und ihre Verspannung im Schichtaufbau innerhalb eines Wellenlängenbereiches eine absorbierende Wirkung festlegen, weiterhin eine sättigbare Wirkung durch eine Wahl der Position innerhalb der stehenden Wellen eines Laserresonators festgelegt ist.

(Fig. 1)